

가상 자전거 시스템을 이용한 평형감각 증진의 평가

정성환*, 박용균(전북대 의용생체공학과),
전유용, 이상민, 권대규, 홍철운, 김남균(전북대 생체정부공학부)

Evaluation on the Improvement of Equilibrium Sense Using a Virtual Bicycle System

S. H. Jeong, Y. J. Piao(Biomedical. Eng. Dept. CBNU),
Y. Y. Jeon, S. M. Lee, T. K. Kwon, C. U. Hong, and N. G. Kim(Bionics and Bioinformatics Eng., CBNU)

ABSTRACT

A quantitative evaluation of postural balance training using a virtual reality bicycle system was performed. In the experiment, the effectiveness of virtual reality bicycle system on postural balance training was analyzed with four male subjects in their twenties. The parameters measured during cycling were cycling time, average velocity, number of times subject deviated from path, and weight shift. Those parameters were evaluated for the quantification of the extent of control. We also measured the parameters on postural control capability after 5th trial and 10th trial in a balance testing system with a force plate to find out the effectiveness of the training. In the balance test with force plate, it was found out that the weight shift was almost zero and the deviation from the target trace reduced significantly after the training with the virtual cycle. The result showed that the virtual bicycle system was an effective system as a rehabilitation training device.

Key Words : Virtual bicycle(가상자전거), Equilibrium sense(평형감각), Forceplate(힘판)

1. 서론

최근 교통량의 증가로 인한 교통사고의 증가와 외상성 뇌손상 등에 의한 중추 신경계의 손상, 노령 인구의 증가, 근골격계의 질환에 의해 자세 균형 제어력에 문제가 생긴 환자들이 증가하고 있다. 자세균형 재활에 대한 연구로써 Drowatzky¹¹⁾ 등은 정상인에서, Shumway-cock¹²⁾ 등과 Lehmann¹³⁾ 등은 뇌 기능장애 환자와 전정기능 장애 환자에서 힘판을 이용한 자세균형 제어의 측정방법에 대한 신뢰도를 입증하였다. 그러나, 기존의 측정장치는 자세균형 재활에 필요한 시각, 전정기관, 그리고 체성감각 등을 통합적으로 자극하지 못할 뿐 아니라 피훈련자가 단조로움을 느끼게 되는 단점이 있다. 또한, 단순하게 의자에 앉았다 일어났다 하거나 제자리 걷기를 하는 정도이며, 이러한 경우 치료사의 주관적인 관찰에 의해 평형감각 능력이 평가 되고, 이로 인해 정량적인 데이터를 얻을 수 없었다. 조금

더 진보한 방법은 힘판에서 COP의 움직임을 통한 재활 훈련이 되고 있다. 힘판을 이용한 재활 훈련은 자세의 안정과 보행능력 향상에는 효과가 있음이 입증됐지만 이는 자세 균형에 필요한 시각이나 체성 감각 등을 효과적으로 자극하지 못하며, 피험자는 단조롭게 느낄 수 있다는 단점이 있다. 따라서 단조롭거나 지루하지 않고, 자세 제어에 대한 정량적인 분석이 가능한 효과적인 자세 제어 재활 장치가 필요하다.

본 연구에서는 가상현실 자전거 시스템을 개발하여, 가상현실 자전거로 평형감각 훈련을 실시하여 힘판을 이용하여 자세제어 능력을 확인하여 가상현실 자전거 시스템이 평형감각 증진 훈련과 재활 훈련에 효과적인지를 검토하였다.

2. 시스템 구성

2.1 훈련 시스템

훈련 시스템은 가상 자전거 시스템으로 하드웨어

어 부와 소프트웨어 부로 구성된다.

Fig. 1 은 자세 제어 재활을 위한 훈련 시스템을 나타내고 있다. 하드웨어 시스템은 자전거 본체에 평형감각 훈련효과를 분석하기 위하여 사용되는 파라미터(parameter)들을 검출하기 위한 장치부와 피험자의 상태를 피드백 시켜주는 피드백 장치부로 구성되어진다. 자전거 시뮬레이터는 핸들의 움직임을 검출하기 위해 1 회전용 전위차계 변환기(potentiometric resistive transducers)를 이용하여 핸들 각을 측정하였다. 1 회전용 전위차계 양단에는 정전압 5V 를 걸어주어 핸들 각도에 따라 비례적으로 전압이 출력되도록 하였다. 중간위치를 2.5V 로 고정시켜 놓고 출력되는 전압이 2.5V 보다 크면 오른쪽 방향으로, 작으면 왼쪽 방향으로 주행 방향을 결정할 수 있다. 주행속도의 검출을 위해서는 자석과 홀센서(hall sensor)를 자전거 페달의 회전부에 장착하였다. 체중이동(weight shift)과 무게 중심(Center of Pressure)의 검출을 위해서 CAS 사의 로드셀(load cell) MNT-100L 과 LCT Series 모델을 이용하였다. 또한, 피험자의 주행상태를 측정하기 위한 전위차계, 홀센서, 로드 셀로부터 출력되는 신호는 증폭 및 필터회로를 통과한 후 PCI 타입의 PCI9111DG 카드를 통하여 컴퓨터와 통신한다. 이 전송된 데이터를 피험자에게 피험자의 주행상태를 실시간으로 피드백 하여 자세제어 조절 훈련에 사용하도록 하였다.

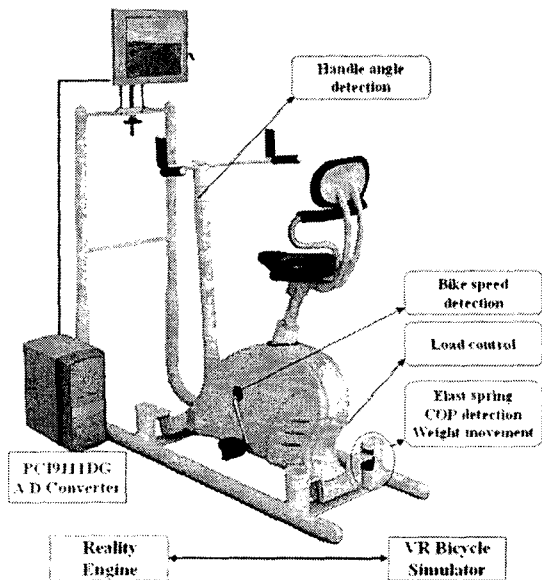


Fig. 1 A training system for postural control rehabilitation

자전거 시뮬레이터 소프트웨어 시스템(system of bicycle simulator)은 크게 두 부분으로 나누어진다. 주행과 관련된 가상환경을 제시하고 하드웨어 시스템과 연계되어 작동하는 주행 소프트웨어

부와 주행 후 훈련효과를 분석하는 소프트웨어 부로 구성된다. 통합 평형감각 기능의 평가를 위해 가상 주행환경의 배경 이미지 생성을 포함한 가상 주행환경 제작은 SENSE8 사의 WorldToolKit(WTK)과 3D Studui MAX, Microsoft Visual Studio c++ 6.0 을 이용하였다. 가상 주행도로의 폭은 6m 인 2 차선 도로이며, 주행구간의 총 길이는 720m 로 설계하였다. Fig. 2 는 가상 자전거 시뮬레이터 소프트웨어 시스템의 구성 및 운영을 나타내고 있는 블록 다이어그램이다.

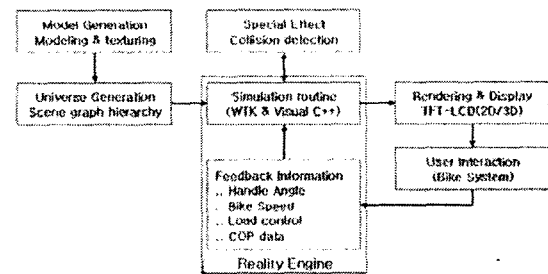


Fig. 2 Block diagram of the virtual bicycle simulator software

2.2 평가 시스템

Fig. 3 은 가상 자전거를 이용한 평형감각 훈련을 평가하기 위한 힘판 평가 시스템을 나타낸 것이다. 힘판은 사각형모양의 플랫폼의 네 모서리에 힘을 측정할 수 있는 로드셀로 구성 되어 졌다. 평형감각 측정원리는 힘센서들의 위치를 중심으로 Fig. 4 와 같이 힘센서들의 위치를 중심으로 한 XYZ 좌표계를 설정한 경우 X, Y, Z 방향으로 작용하는 힘을 F_x, F_y, F_z 이라 하면 각 방향의 힘과 모멘트의 평형조건에 의하여 힘 센서들로부터 작용된 힘을 측정함으로써 힘의 변화 및 무게중심 위치의 움직임을 측정할 수 있다.

자세 균형 제어 능력 증진 및 훈련 효과를 분석하기 위해서 평가 프로그램과 및 데이터 분석 프로그램 등으로 구성된 소프트웨어를 개발하였다. Fig 5 는 NI 사의 LabVIEW 6.1 을 이용하여 개발된 평가 프로그램이다. 평가 프로그램은 수평 모드, 수직 모드, +45 모드, -45 모드, 원 모드, 삼각형 모드, 사각형 모드로 구성되어 있다.

COP 의 이동시간과 유지시간을 측정하여 이를 평형감각 훈련의 평가에 이용하였다. COP 의 이동시간은 피험자의 COP 를 나타내는 타겟이 모니터에 나타나는 원까지 도달하는 시간을 나타내며 COP 유지시간은 피험자의 COP 를 나타내는 타겟이 모니터에서 이동하고 있는 원안에 유지되는 시간을 나타낸다. 이를 이용하여 피험자의 평형감각을 평가하였다.

3. 실험방법

실험에 참여한 피험자는 20 대의 정상인 남성 4 명으로 이루어졌다. 사전에 피험자에게 실험의 개

요, 시스템의 특성 및 조작법, 주의사항 등을 이야기하였다. 실험은 크게 피험자의 체중이동 상태가 실시간으로 피드백되는 VFW(Visual Feedback-Weight Shift) 모드와 피험자의 무게중심 상태가 실시간으로 피드백되는 VFC(Visual Feedback-Center Of Pressure)모드, 그리고 피험자의 신체정보를 피드백하지 않는 NVF(Non-Visual Feedback)모드로 나눌 수 있다(Fig. 6).

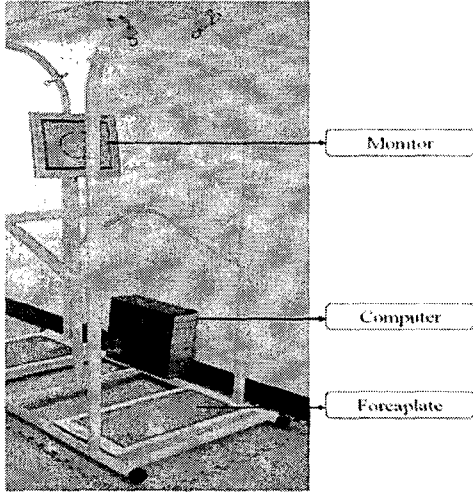


Fig. 3 The evaluation system for equilibrium sense

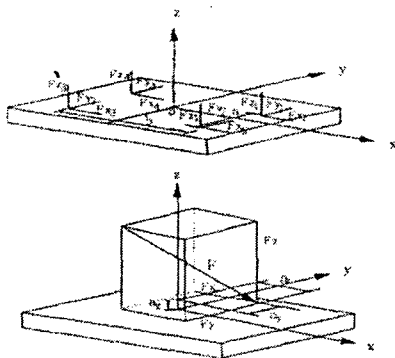


Fig. 4 Balance plate and definition of the measured variable

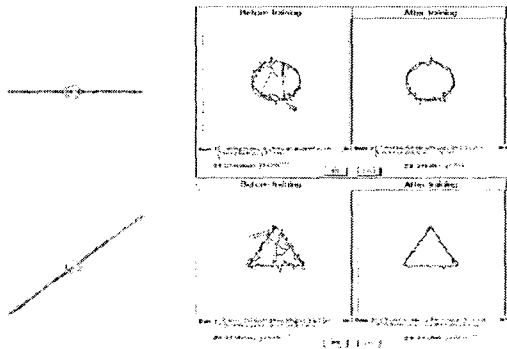


Fig. 5 Evaluation programs

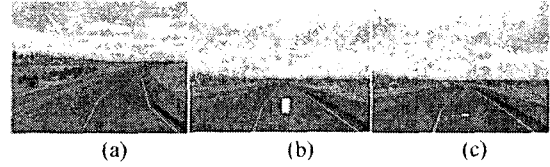


Fig. 6 The training mode of three types using virtual bicycle simulator:

(a) Non-visual feedback (b) Visual feedback of the weight shift (c) Visual feedback of the center of pressure

주행 시 피험자에게 도로의 중앙선을 따라 주행하도록 지시하였고, VFW와 VFCOP 모드에서는 중앙선을 따라가는 동시에 피험자의 평형유지 정보에 몸의 균형을 유지하도록 지시하였다.

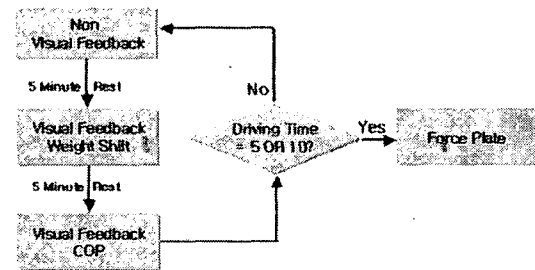


Fig. 7 Experimental procedure

Fig. 7은 실험의 진행 방법을 나타내고 있다. NVF, VFW, VFC로 훈련을 진행하였고 1회 훈련 시 각 주행모드를 2번씩 주행하였으며 주행 횟수가 5회, 10회가 되었을 시에 힘판으로 평형각각 평가를 실시하였다. 피험자의 근육에 피로가 쌓이는 것을 방지하기 위해 하루에 한번 실험 하는 것으로 하였다.

4. 결과 및 고찰

가상 자전거 시스템의 유용성과 훈련의 효과를 평가하기 위하여 평형각각과 관련된 주행요소를 분석하였다. 중앙선 이탈도, 무게이동, COP 등과 관련된 시각 피드백 정보가 유용한지를 정량적으로 평가하였다.

4.1 가상 자전거 훈련결과

Fig. 8은 주행 속도를 나타낸 것으로 주행을 거듭 할수록 NVF, VFC, VFW 주행 모두 주행속도가 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

Fig. 9는 자전거 훈련의 훈련 전과 후의 무게이동 감소를 나타낸 것이다. 무게이동은 50%에 가까울수록 주행 시 무게이동이 적었다는 것을 의미한다. NVF 모드는 57.54%에서 54.95%로 2.59%, VFW 모드는 56.65%에서 53.41%로 3.55%, VFC 모드는 57.1%에서 54.1%로 3% 각각 감소하였다. 피험자의 좌우 무게이동 정보를 피드백 하는 VFW 모드에서

가장 많이 감소하였다. 이는 자전거 주행을 하는데 있어서 중요한 요소인 좌우의 무게이동의 정보를 피드백 함으로써 피험자가 자전거 주행 시에 무게 이동 조절에 신경을 썼음을 알 수 있다. 자전거 주행 속도의 증가율이 가장 작아 자전거 주행과 무게 이동과의 상관성이 있음을 알 수 있다.

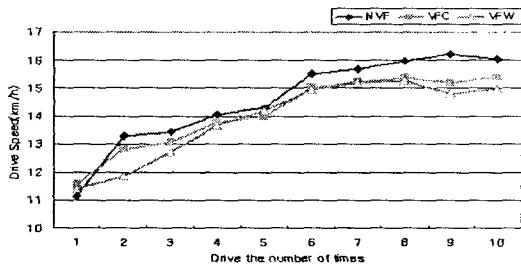


Fig. 8 Mean driving velocity on the riding mode of subjects

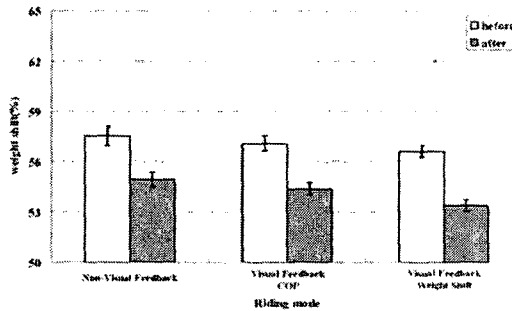


Fig. 9 The weight shift on the riding mode of subjects

4.2 힘판의 평가

가상 자전거 훈련이 자세 제어 능력에 도움이 되는지를 평가하기 위해 힘판을 이용하여 평형감각 평가를 실시 하였다. 자전거 주행을 5 회, 10 회 실시한 후 힘판으로 평가 하였다.

Fig. 10 은 움직이는 타겟과 피험자의 무게중심을 나타내는 COP 이동점과의 오차를 나타낸 값으로 훈련 전후의 평가를 비교하였다. 삼각형 모드에서 가장 많이 오차가 감소하였으며 삼각형과 원형 그리고 -45 도 방향일 때 평형감각 증진 능력이 향상됨을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 가상현실기술과 자전거를 개발하여 평형감각 실조환자의 진단 및 시각, 전정감각, 체성감각 등을 효율적으로 진단하고 자극, 훈련시킬 수 있는 자전거 시뮬레이터(bike simulator) 시스템을 이용하여 평형감각 훈련에 도움이 되는지를 힘판을 이용하여 평가하였다. 실험결과 자전거 주행을 훈련 결과 무게이동이 NVF 모드에서 2.59%, VFV 모드에서 3.55%, VFC 모드에서 3% 각각 감소하

여 50%에 가까워져 무게이동이 감소하였으며 힘판을 이용한 평형감각 측정된 결과 COP 이동시간은 짧아지고 유지시간은 길어짐으로써 균형감각 능력이 향상됨을 알 수 있었다.

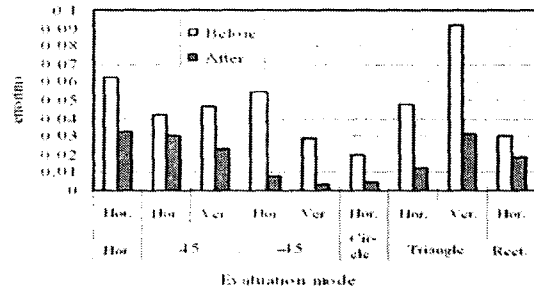


Fig. 10 Error of equilibrium sense for improving the equilibrium sense

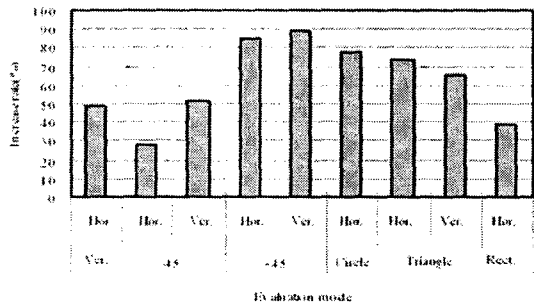


Fig. 11 Increasing ratio of equilibrium sense

후기

이 논문은 2005 년도 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업 헬스케어기술개발사업단의 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. J. N. Drowatzky, and F. C. Ziccatto, "Interrelationships between selected measures of static and dynamic balance," Research Quarterly, Vol. 38, pp. 509-510, 1967.
2. A. Shumway-Cook, and F. B. Horak, "Assessing influence of sensory interaction on balance suggestion from field," Physical Therapy, Vol. 66, pp. 1548-1550, 1986.
3. J. F. Lehmann, S. Boswell, R. Price, A. Burleigh, B. J. deLateur, K. M. Jaffe, and D. Hertling, "Quantitative evaluation of sway as an indicator of functional balance in post traumatic brain injury," Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Vol. 70, pp. 955-966, 1990.
4. A. P. Ruskin, Current therapy inphysiatry, WB saunders, Philadelphia, pp. 26-27. 1984.